

海面型最終処分場の粘土ライナーにおける化学物質の拡散移動

国土環境株式会社
埼玉大学大学院
中電技術コンサルタント株式会社
中電技術コンサルタント株式会社
呉工業高等専門学校

正会員 下所 諭
正会員 小松 登志子
正会員 福原 和
正会員 蔦川 徹
正会員 森脇武夫

1. はじめに

管理型最終処分場では、廃棄物から溶出する化学物質が問題となっている。汚染水が周辺環境に漏出しないよう遮水層が設けられている。海面埋立では遮水層として堆積粘土層が多く用いられる。我が国の遮水構造基準は遮水層の透水性であるが、本研究では粘土ライナー内の化学物質の挙動に着目し、粘土内での化学物質の基礎的な拡散移動を把握することを目的とする。粘土内での化学物質の拡散移動に影響を与える要因をカラム実験を行い検討した。またこれらの結果より粘土内の化学物質の拡散についての予測モデルを検討した。

2. 拡散方程式の理論的考察

移流がない場合の土中での 1 次元拡散方程式は次式のように表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_p}{q} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

(1)

ここで C は溶質濃度、 D_p は土中での拡散係数、t は時間、 θ は体積水分含有率、z は拡散距離である。

3. 実験設備及び実験方法

本研究では内径 3.9cm、長さ 15.2cm のステンレス製カラムを用い、拡散実験を行った。化学物質のトレーサーとして臭素イオン (Br^-) を用いた。粘土試料については粘土を練り返し、再圧密した。これにカラムを差し込み、カラム下端をアクリル版で塞いだ。その後、粘土試料上部をトレーサー溶液で満たした。このカラムを恒温室 25℃ で数日間静置した。拡散実験終了後、溶液を 1cm ずつピペットで採取した。粘土試料に関してはスライスし、試料を分けた。

液体試料、粘土試料の臭素イオン濃度、粘土試料の含水比を測定した。粘土中の臭素イオンの濃度分布を用い、拡散方程式の解析値との誤差の 2 乗和 (RMSE) を最小

にすることにより粘土内の拡散係数を求めた。

実験装置の概略図を Fig. 1、実験条件を Table 1 に示す。

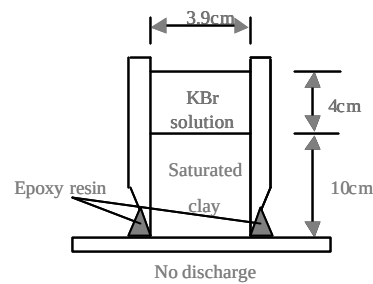


Fig. 1 Schematic diagram of the column apparatus.

Table 1 Conditions for experiments.

No.	Concentration of tracer	Porosity (cm ³ /cm ³)	Concentration of Cl ⁻ in clay	Soil type
1	5000mg/L Br ⁻	0.60~0.61	20000mg/L Cl ⁻	Maizuru clay
2		0.66~0.77		Dejima clay
3	10000mg/L Br ⁻	0.66~0.68		
4	15000mg/L Br ⁻			
5	5000mg/L Br ⁻	0.66~0.67		

3. 間隙率及びイオン濃度による影響

＜間隙率による影響＞

Fig. 2 に粘土カラムの間隙率と粘土中での溶質の拡散係数との関係を示す。

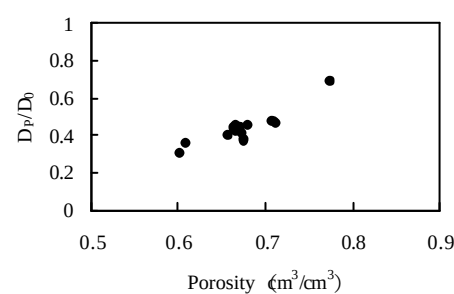


Fig. 2 Relation between D_p/D_0 and porosity.

Fig. 2 より間隙率の増加に伴い、粘土内における溶質の拡散係数も増加した。これは粘土カラムが飽和状態であ

るため、間隙率の増加に伴い粘土間隙の屈曲性が減少したことが原因と考えられる。粘土内の間隙は屈曲しており、屈曲した間隙を通じた移動距離が実際の溶質の移動距離になる。そのため間隙が大きく粘土粒子が少ないほど屈曲性が小さくなり、拡散移動が大きかったと考えられる。

<トレーサのイオン濃度による影響>

Fig. 3 に供給溶液のイオン濃度と粘土中での溶質の拡散係数との関係を示す。

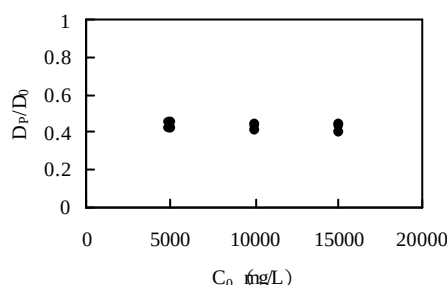


Fig. 3 Relation between bromide concentration (C_0) and bromide relative diffusivity (D_p/D_0).

Fig. 3 よりトレーサ溶液中のイオン濃度が増加しても拡散係数にほとんど変化は見られなかった。これは用いた粘土が海性粘土であり、初期間隙水中に高濃度のイオンが存在することが原因と考えられる。

<間隙水中のイオン濃度による影響>

Fig. 4 に初期間隙水中のイオン濃度と粘土中での溶質の拡散係数との関係を示す。

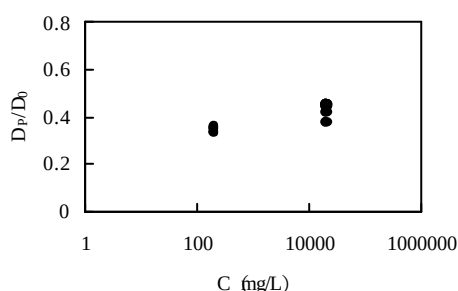


Fig. 4 Relation between chloride concentration (C) and bromide relative diffusivity (D_p/D_0).

Fig. 4 より間隙水中のイオンが低濃度のときは、溶質の拡散がやや小さい傾向がみられた。粘土粒子の分散状態は溶質の拡散に大きく関わっている。間隙水中のイオン濃度が低いと粘土粒子表面の電気二重層の層厚が厚くなり、間隙内に粘土粒子が分散するといわれている。そのため粘土粒子が分散した状態では、間隙内の屈曲率が大きくなり、溶質の拡散が遅くなると考えられる。

4. 相対拡散係数予測モデルの検討

本研究では既存の Buckingham (1904) のモデル式を用い、その適合性について検討した。Buckingham (1904) は、土中での気体の相対拡散係数 (D_p/D_0) の予測モデルとして次式を導いた¹⁾。

$$\frac{D_p}{D_0} = \Phi^2 \quad (2)$$

ここで D_0 は空気中での拡散係数、 Φ は間隙率である。

Fig. 5 にカラム実験より得られた相対拡散係数の実測値と Buckingham モデルで求めた予測値の関係を示す。ここで、初期間隙水中のイオン濃度は同じ条件である。

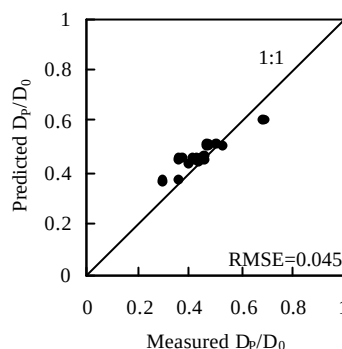


Fig. 5 Prediction by the Buckingham expression.

Fig. 5 より、Buckingham モデルの予測値は実測の相対拡散係数にほぼ一致していた。Buckingham モデルは本来、乾燥した土中での気体の拡散予測モデルで、気相-固相の 2 相での気体の相対拡散係数を表す。しかし本研究のように飽和状態の粘土（液相-固相）における溶質の拡散についてもよく適合していた。これにより液相-固相の拡散は気相-固相の拡散と現象が同じであることが分かる。そのため、気相-固相における拡散を高精度で予測できる Buckingham モデルが、液相-固相における拡散現象も予測できたものと考えられる。

5. 結論

本研究では海面管理型最終処分場における粘土ライナー内での化学物質の拡散移動について検討を行った。その結果粘土の間隙率、間隙水のイオン濃度が粘土ライナー内での溶質の拡散に影響を与えることが明らかになった。また拡散係数予測モデルについて検討した結果、既存の Buckingham モデルが粘土中での拡散係数を高精度で予測していた。

参考文献

- 1) D. Hillel, Environmental Soil Physics, Academic Press, pp295~296, 1999.